

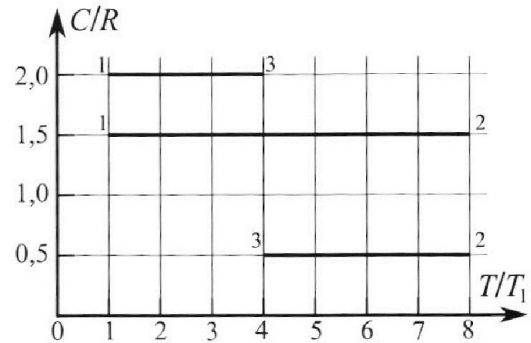
Олимпиада «Физтех» по физике,  
февраль 2023

Вариант 10-02

Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.



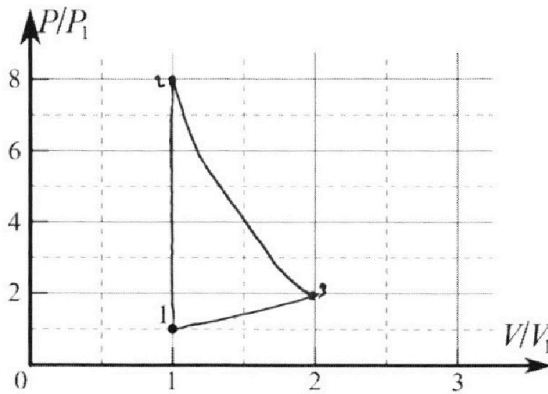
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости  $C$  газа (в единицах универсальной газовой постоянной) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1 (см. рис.). Температура газа в состоянии 1 равна  $T_1 = 200$  К, универсальная газовая постоянная  $R = 8,31$  Дж/(моль·К).



1) Найдите работу  $A_{31}$  внешних сил над газом в процессе 3-1.

2) Найдите КПД  $\eta$  цикла.

3) Постройте график цикла в координатах  $(P/P_1, V/V_1)$ , где  $P_1$  и  $V_1$  давление и объём в состоянии 1. Для построения графика перенесите шаблон (см. ниже) в чистовик своей работы. Точка 1 на графике соответствует состоянию 1 газа в цикле.



5. Четыре заряженных шарика связаны легкими нерастяжимыми нитями так, что шарики находятся в вершинах квадрата со стороной  $a$  (см. рис.). Сила натяжения каждой нити  $T$ .

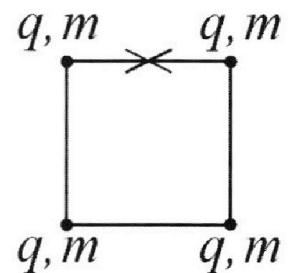
1) Найдите абсолютную величину  $|q|$  заряда каждого шарика.

Одну нить пережигают.

2) Найдите кинетическую энергию  $K$  любого, выбранного Вами шарика, в тот момент, когда шарики будут находиться на одной прямой.

3) На каком расстоянии  $d$  от точки старта будет находиться в этот момент любой из двух шариков, изначально расположенных сверху (на рисунке)?

Электрическая постоянная  $\epsilon_0$ . Действие сил тяжести считайте пренебрежимо малым.





Олимпиада «Физтех» по физике,  
февраль 2023

Вариант 10-02

Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.



1. Футболист наносит удар по мячу, лежащему на горизонтальной площадке. Вектор начальной скорости мяча образует угол  $\alpha = 45^\circ$  с горизонтальной плоскостью. Горизонтальное перемещение мяча за время полета  $L = 20$  м.

1) Найдите начальную скорость  $V_0$  мяча.

Если футболист направляет мяч под различными углами к горизонту, из той же точки с начальной скоростью  $V_0$  к высокой вертикальной стенке, то наибольшая высота, на которой происходит соударение мяча со стенкой, равна  $H = 3,6$  м.

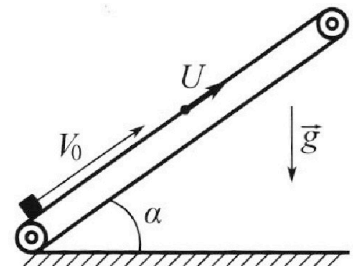
2) На каком расстоянии  $S$  от точки старта находится стенка?

Ускорение свободно го падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>. Мяч движется в плоскости перпендикулярной стенке. Сопротивление воздуха считайте пренебрежимо малым.

2. Лента транспортера, предназначенного для подъема грузов, образует с горизонтальной плоскостью угол  $\alpha$  такой, что  $\sin \alpha = 0,6$  (см. рис.).

В первом опыте небольшую коробку ставят на покоящуюся ленту транспортера и сообщают коробке начальную скорость  $V_0 = 6$  м/с. Коэффициент трения скольжения коробки по ленте  $\mu = 0,5$ .

Движение коробки прямолинейное.



1) Какой путь  $S$  пройдет коробка в первом опыте к моменту времени  $T = 1$  с?

Во втором опыте коробку ставят на ленту транспортера, движущуюся со скоростью  $U = 1$  м/с, и сообщают коробке скорость  $V_0 = 6$  м/с (см. рис.).

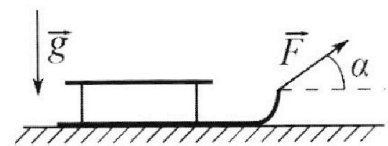
2) Через какое время  $T_1$  после старта скорость коробки во втором опыте будет равна  $U = 1$  м/с?

3) На каком расстоянии  $L$  от точки старта скорость коробки обратится в ноль во втором опыте? Ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>. Все кинематические величины измерены в лабораторной системе отсчета.

3. Санки дважды разгоняют из состояния покоя до одной и той же кинетической энергии  $K$  на одинаковых участках пути.

В первом случае санки тянут, действуя постоянной по модулю силой, направленной под углом  $\alpha$  к горизонту (см. рис.).

Во втором случае такая же по модулю сила, приложенная к санкам, направлена горизонтально. После достижения кинетической энергии  $K$  действие внешней силы прекращается.



1) Найдите коэффициент  $\mu$  трения скольжения санок по горизонтальной поверхности.

2) Найдите перемещение  $S$  санок в процессе торможения до остановки. Ускорение свободного падения  $g$ . Санки находятся на горизонтальной поверхности. Движение санок прямолинейное.

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

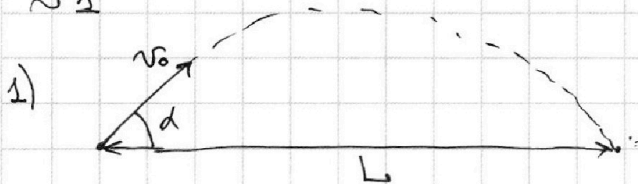
1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



5.1

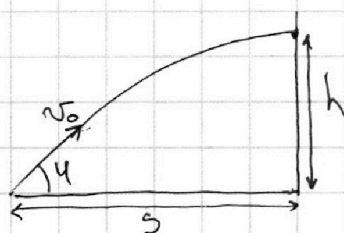


$\alpha = 45^\circ$   
 $L = 20 \text{ м}$

$$L = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{Lg}{\sin 2\alpha}} = \sqrt{\frac{20 \cdot 10}{1}} = 10\sqrt{2} \text{ (м/с)}$$

2)



$\gamma$  - начальный угол

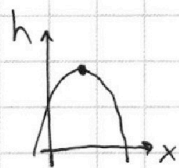
$h$  - высота соударения

$$H = \max(h)$$

$$t_n = \frac{s}{v_0 \cos \gamma} \text{ - время полета до удара}$$

$$h = v_0 \sin \gamma t - \frac{gt^2}{2} = s \cdot \tan \gamma - \frac{g}{2} \cdot \frac{s^2}{v_0^2} \cdot \left(\frac{1}{\cos^2 \gamma}\right) =$$

$$= s \tan \gamma - \frac{gs^2}{2v_0^2} \cdot (\tan^2 \gamma + 1) = \left| \frac{gs^2}{2v_0^2} = p, \tan \gamma = x \right| = \underline{s \cdot x - px^2 - p}$$



Найдем максимум:

$$x = \frac{-s}{-2p} = \frac{s}{2p}$$

$$\max(h) = H = \frac{s^2}{2p} - \frac{s^2}{4p} - p = \frac{s^2}{4p} - p =$$

$$= \frac{v_0^2}{2g} - \frac{gs^2}{2v_0^2}$$

$$3,6 = \frac{200}{2 \cdot 10} - \frac{10}{2 \cdot 200} \cdot s^2$$

$$\frac{s^2}{40} = 10 - 3,6 = 6,4$$

$$s^2 = 64 \cdot 4 = (16)^2 \quad s = 16 \text{ м}$$

Ответ:  $v_0 = 10\sqrt{2} \text{ м/с}$   
 $s = 16 \text{ м}$

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

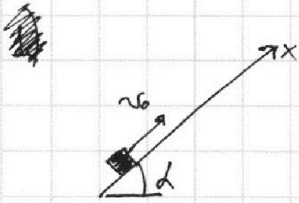
1  2  3  4  5  6  7



Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



52



$$\mu = 0,5$$

$$v_0 = 6 \text{ м/с}$$

$$\sin \alpha = 3/5$$

$$\cos \alpha = 4/5$$

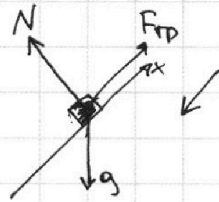
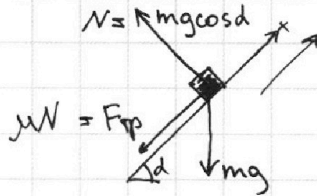
$$\tan \alpha = 3/4$$

$$\mu < \tan \alpha$$

⇓

Коробка заклинить не может  
Значит сила  $F_{\text{тр}}$  скольжения

Р-и силы:



Введём ось  $Ox$  вдоль ленты

$$a_x = -\mu g \cos \alpha - g \sin \alpha \quad \text{— ускорение при движении вверх}$$

$$a'_x = \mu g \cos \alpha - g \sin \alpha \quad \text{— ускорение при движении вниз}$$

- 1)  $S_1$  — путь вверх,  $\tau_1$  — время движения вверх  
 $S_2$  — путь вниз,  $\tau_2$  — время движения вниз

$$|S_1| + |S_2| = S$$

$$\tau_1 + \tau_2 = T$$

$$a_x = -\frac{1}{2} \cdot 10 \cdot \frac{4}{5} - 10 \cdot \frac{3}{5} = -10$$

$$a'_x = 4 - 6 = -2$$

~~$v_0 + a_x \tau_1 = 0$~~

$$v_0 + a_x \tau_1 = 0$$

$$\tau_1 = -\frac{v_0}{a_x} = 0,6 \text{ (с)}$$

$$S_1 = v_0 \tau_1 + \frac{a_x \tau_1^2}{2} = 3,6 - 1,8 = 1,8 \text{ (м)}$$

$$S_2 = \frac{a'_x \tau_2^2}{2} = -0,16 \text{ (м)}$$

$$\tau_2 = 0,4 \text{ (с)}$$

Ответ:  $S = 1,96 \text{ (м)}$

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**МФТИ**

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

2) Пересаждем в СО ленты, тогда

$$\text{начальная скорость коробки} = v_0' = v_0 - u = 5 \text{ м/с}$$

$$\text{конечная скорость коробки} = u' = u - u = 0 \text{ м/с}$$

$$v_0' + a_x T_1 = u' = 0$$

$$5 - 10 T_1 = 0$$

$$T_1 = 0,5 \text{ с} : \text{ Ответ}$$

СО лента инерциальна.  
Значит ускорения не изменятся

3) конечная скорость коробки =  $u'' = 0 - u = -1 \text{ м/с}$

В СО  
ленты:

$t_1'$  - время вверх,  $L_1$  - путь вверх

$t_2'$  - время вниз,  $L_2$  - путь вниз

$$|L_1| + |L_2| = L$$

$$t_1' = T_1 = 0,5 \text{ с}$$

$$L_1 = v_0' T_1 + a_x T_1^2 / 2 = 2,5 - 1,25 = 1,25 \text{ (м)}$$

$$L_2 = a_x' (t_2')^2 / 2 = -2 \cdot 0,25 / 2 = -0,25$$

$$-2 \cdot t_2' = -1$$

$$t_2' = 0,5 \text{ с}$$

$$L = 1,25 + 0,25 = 1,5$$

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

 МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



~~2~~  $t_1'$  - время вверх,  $L_1$  - путь вверх

$t_2'$  - время вниз,  $L_2$  - путь вниз

$L' = L_1 + L_2$  - перемещение в со  
ленты

$$t_1' = t_2 = 0,5 \text{ c}$$

$$a_x' \cdot t_2' = u''$$

$$L_1 = v_0' \cdot t_2' + a_x' (t_1')^2 / 2 =$$

$$-2 \cdot t_2' = -1$$

$$= 2,5 - 1,25 = 1,25 \text{ (м)}$$

$$t_2' = 0,5 \text{ c}$$

$$L_2 = a_x' (t_2')^2 / 2 = -0,25 \text{ (м)}$$

$$L' = 1,25 - 0,25 = 1 \text{ (м)}$$

~~В ответе: 2 м~~

За время  $t_1' + t_2'$  лента проехала  $u(t_1' + t_2') = 1 \text{ м}$

$$L = L' + 1 = 2 \text{ (м)}$$

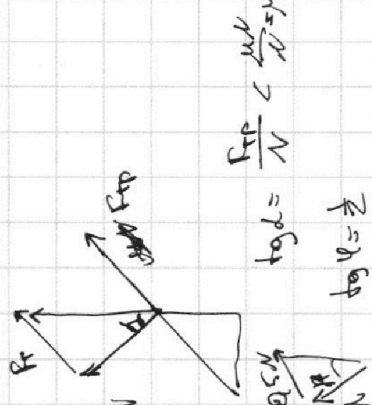
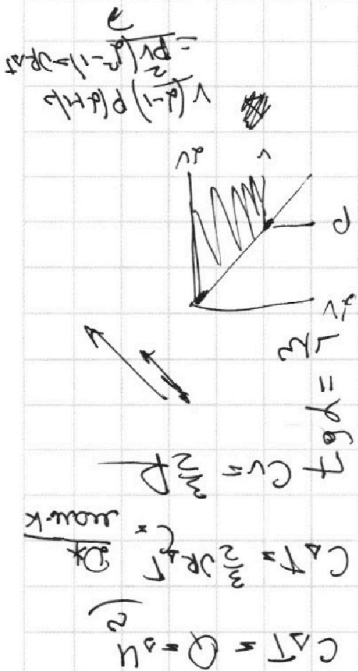
Ответ: 2 м

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

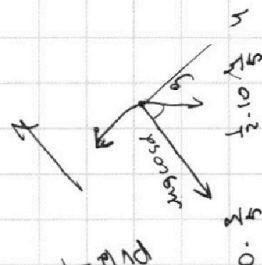
- 1  2  3  4  5  6  7

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



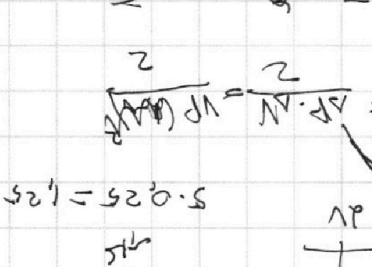
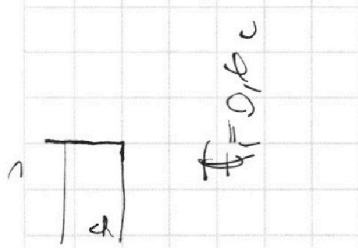
$$\frac{316}{2} = 18$$

$$10 \cdot 0.36$$

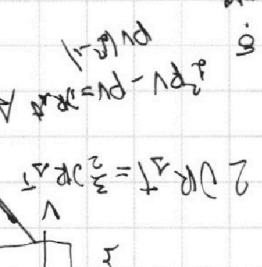


$$a = g \sin \alpha + \mu g \cos \alpha$$

$$= g (\sin \alpha + \mu \cos \alpha)$$

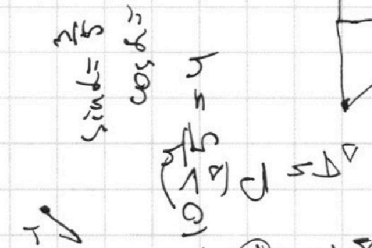
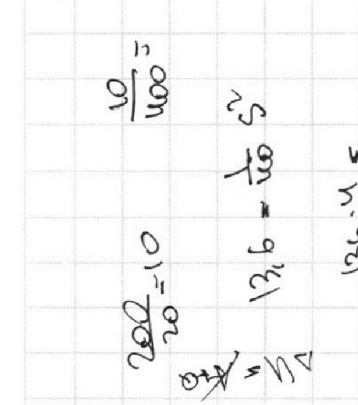


$$2 \cdot 0.25 = 1.25$$

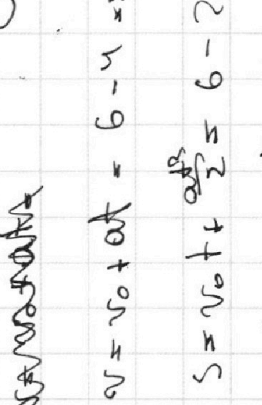


$$a = g \sin \alpha + \mu g \cos \alpha$$

$$= g (\sin \alpha + \mu \cos \alpha)$$

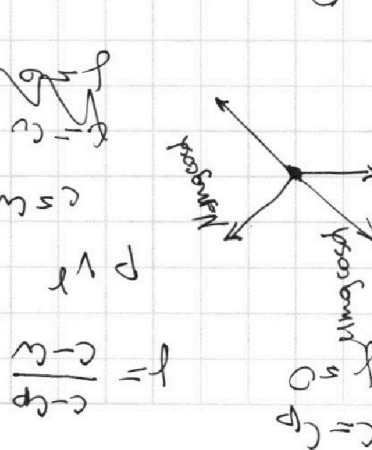
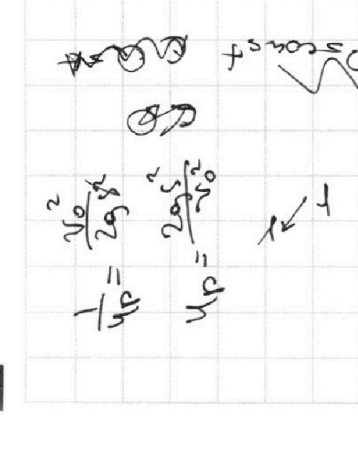


$$5 \cdot 0.25 = 1.25$$

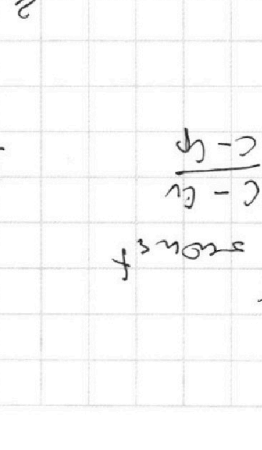


$$a = g \sin \alpha + \mu g \cos \alpha$$

$$= g (\sin \alpha + \mu \cos \alpha)$$



$$6 \cdot 0.1 = 0.6$$



$$a = g \sin \alpha + \mu g \cos \alpha$$

$$= g (\sin \alpha + \mu \cos \alpha)$$

$$2 \cdot 0.25 = 1.25$$

$$5 \cdot 0.25 = 1.25$$

$$6 \cdot 0.1 = 0.6$$

$$a = g \sin \alpha + \mu g \cos \alpha$$

$$= g (\sin \alpha + \mu \cos \alpha)$$

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

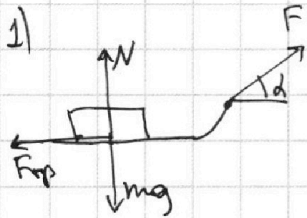
Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

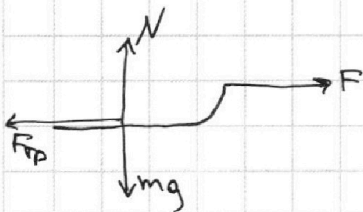
53



$$N = mg - F \sin \alpha$$

$$F_{тр} = \mu N$$

$$ma = \underline{F_x} - F_{тр} = \underline{F \cos \alpha} - \mu mg + \mu F \sin \alpha + \underline{F \cos \alpha}$$



$$N' = mg$$

$$F_{тр}' = \mu N'$$

$$ma = F - F_{тр}' = F - \mu mg$$

Ускорения равны,  
потому мы стартуем  
из состояния покоя  
и пути равны

Зная:  $F(\cos \alpha + \mu \sin \alpha) - \mu mg = F - \mu mg$

Ответ  $\mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$

2)  $A_{тр} = k$

$$F_{тр} S = k$$

$$S = \frac{k}{\mu mg} \quad - \text{ответ}$$



На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**МФТИ**

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

54

$$C_V = \frac{3}{2} \nu R$$

$$C_P = \frac{5}{2} \nu R$$

1)  $Q = \Delta U + A_r$

$$\nu C_P \Delta T = \Delta U + A_r \quad C = 2R$$

~~2021~~

$$2 \nu R \Delta T = \frac{3}{2} \nu R \Delta T + A_r$$

$$A_r = \frac{1}{2} \nu R \Delta T = -\frac{3}{2} \nu R T_1$$

$$A_{31} = -A_r = \boxed{\frac{3}{2} \nu R T_1} \quad \text{Может} \quad \text{Ответ: } \boxed{\frac{3}{2} \nu R T_1 = 2493 \text{ Дж}}$$

2)  $1 \rightarrow 2: A = 0, Q = \frac{3}{2} \nu R \Delta T = \frac{21}{2} \nu R T_1$

$$2 \rightarrow 3: \nu \frac{1}{2} \Delta T = \frac{3}{2} \nu R \Delta T + A$$

$$A = -\nu R \Delta T = 4 \nu R T_1$$

$$Q = -2 \nu R T_1$$

---

$$3 \rightarrow 1: A = -\frac{3}{2} \nu R T_1$$

$$Q = -6 \nu R T_1$$

~~А именно  $\nu R T_1 \left( \frac{21}{2} + \frac{3}{2} + 2 \right) = \nu R T_1 \left( \frac{21}{2} + \frac{3}{2} + 2 \right) = \frac{21}{2} \nu R T_1$~~

$Q = \frac{21}{2} \nu R T_1$

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

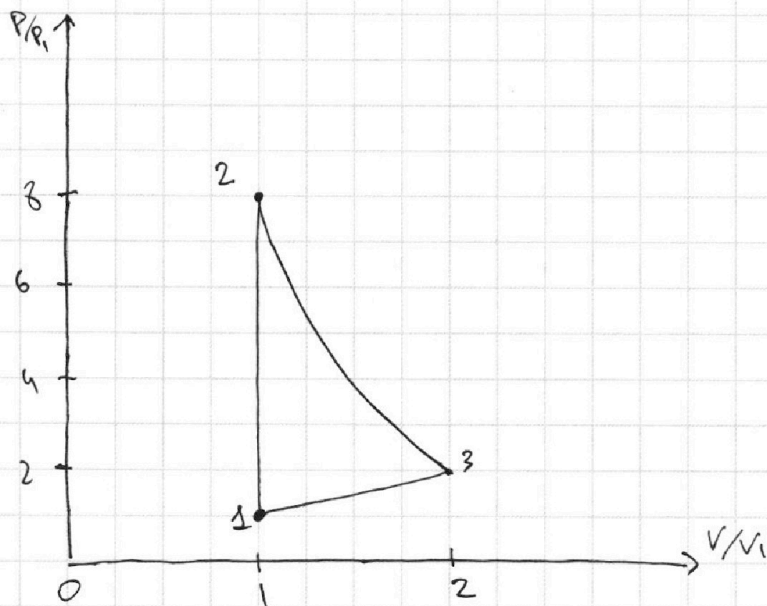
$$A_{\text{цикла}} = \Delta R T_1 \left(4 - \frac{3}{2}\right) = \frac{5}{2} \Delta R T_1$$

$$Q^+ = \frac{21}{2} \Delta R T_1$$

$$\eta = \frac{A_{\text{цикла}}}{Q^+} = \frac{5}{21}$$

Ответ:  $\eta = \frac{5}{21}$

3)



1 → 2:  $C = \frac{3}{2}R = C_V \Rightarrow V = \text{const}$

$\frac{P_2 V_1}{P_1 V_1} = \frac{T_2}{T_1} = 8 \Rightarrow P_2 = 8P_1$

3 → 1:  $C = 2R$   $PV^\gamma = \text{const}$

$\gamma = \frac{C - C_V}{C - C_V} = \frac{2 - \frac{5}{2}}{2 - \frac{3}{2}} = -1 \Rightarrow PV^{-1} = \text{const} \Rightarrow P \sim V$

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

$$\frac{P_1 V_1}{P_3 V_3} = \frac{T_1}{T_3} = 4$$

$$P_1 = 2V_1$$

$$P_3 = 2V_3$$

$$V_1^2 = 4V_3^2$$

$$\underline{V_3 = 2V_1}$$

2 → 3:

$$\gamma = \frac{1/2 - 5/2}{1/2 - 3/2} = 2$$

$$\underline{P \sim \frac{1}{V^2}}$$

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

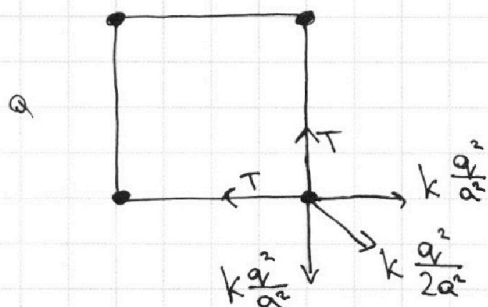
1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

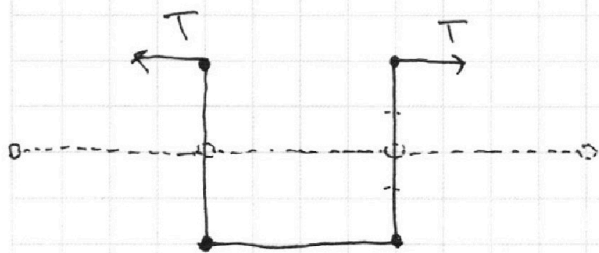
55

Все заряды одноименные, иначе нити не могут быть натянуты



$$T = \frac{kq^2}{a^2} + \frac{\sqrt{2}}{4} \frac{kq^2}{a^2}$$

$$|q| = \sqrt{\frac{Ta^2}{k(1 + \frac{\sqrt{2}}{4})}} = a \sqrt{\frac{T}{k(1 + \frac{\sqrt{2}}{4})}} \quad - \text{ ответ.}$$



Центр масс остается на месте

Значит шарики будут располагаться как на рисунке нумерован.



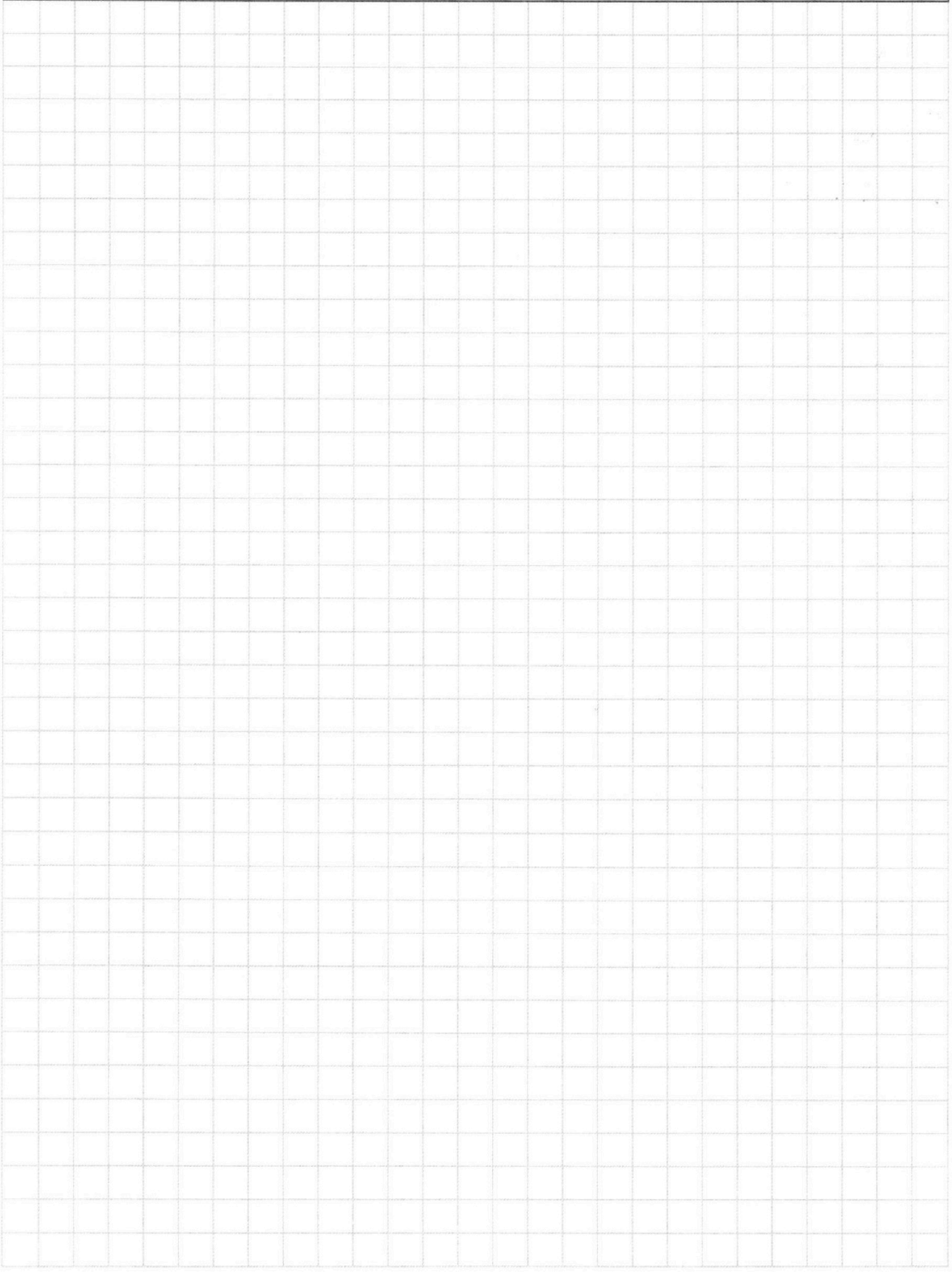
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!





На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

- 1  2  3  4  5  6  7

**МФТИ**

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

$$C_p \Delta T = Q = \Delta U + A = \frac{1}{2} P \Delta V = \frac{1}{2} \nu R \Delta T$$

$$C_p = \frac{5}{2} R$$

$$\Delta U = A + Q$$

$$A = P \Delta V$$

$$\frac{3}{2} P \Delta V$$

$$\frac{831 \cdot 3}{2493}$$

$$\gamma = 1$$

$$\gamma = \frac{C_p - C_v}{C_p} = \frac{5}{3}$$

$$-1 = \frac{2 - \frac{1}{2}}{2 - \frac{3}{2}} = \frac{3/2}{1/2} = 3$$

$$-\frac{1}{2} + \frac{5}{2} = \frac{4}{2} = 2$$

$$-1 = \frac{2 - 5/2}{2 - 3/2} = \frac{-1/2}{1/2} = -1$$

$$\frac{3}{2} \cdot 200 \cdot 831$$

$$C_p = \frac{5}{2} R$$

$$\frac{1}{2} = \frac{x - 5/2}{x - 3/2} = \frac{2x - 5}{2x - 3}$$

$$x - \frac{3}{2} = 2x - 5$$

$$x = 5 - \frac{3}{2} = 3,5$$

$$\frac{3}{2} \nu R \Delta T = \int P dV + \nu C_v \Delta T$$

$$\frac{13}{2} \Rightarrow 9$$

$$\frac{-\frac{1}{2} + \frac{5}{2}}{-\frac{1}{2} + \frac{3}{2}} = 2$$

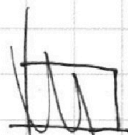
$TV = \text{const}$

$PV^2 = \text{const}$

$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T$$

$$A = \nu R \Delta T = P \Delta V$$

$$Q = c \Delta T$$



~~Adiabatic~~

$$C_p \Delta T = Q$$

$$\Delta U = A + Q$$

$$\frac{3}{2} \nu R \Delta T = \nu R \Delta T + c \Delta T$$

$$C = \frac{1}{2} R$$

$$C_v = C_p + R$$

$$P V^2 = \text{const}$$

$$P \sim \frac{1}{V^2}$$

$$Q = \Delta U + A$$

$$\frac{1}{2} \nu R \Delta T = \frac{3}{2} \nu R \Delta T + A$$

$$c \Delta T$$

$$c = \frac{5}{2} R = 2,5 R$$

$$\Delta U = A + Q \quad Q=0$$

